



## ANÁLISE REOLÓGICA EM MOLDES DE INJEÇÃO NO CONTEXTO DE UM SISTEMA FLEXÍVEL DE MANUFATURA

**Marcos Alexandre Luciano**

**Rolando Vargas Vallejos**

**Walter Paucar Casas**

Universidade de Caxias do Sul,

Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica

Bloco D, R. Francisco Getúlio Vargas 1130, Caxias do Sul, RS, Brasil, 95070-560

**Resumo.** *Este trabalho descreve parte da implantação de um Sistema Flexível de Manufatura (FMS) orientado à fabricação de moldes de injeção de termoplásticos no contexto de Sistemas Inteligentes de Manufatura (IMS) que vem sendo desenvolvido no Departamento de Engenharia Mecânica (DEMC) da Universidade de Caxias do Sul (UCS). Fazendo uso de técnicas como a da Engenharia Concorrente (CE) é possível lançar para o mercado produtos, neste caso moldes de injeção, com tempos de desenvolvimento e erros de concepção cada vez menores. A simulação do projeto testa a validade funcional do molde nas mais diferentes condições de uso. As simulações serão do tipo reológica, térmica e mecânica. A simulação reológica prediz o escoamento do material no interior da cavidade e no sistema de alimentação, analisando seu comportamento nas fases de enchimento e recalque; posteriormente é realizada a análise de balanceamento dos canais de injeção; e, para concluir, determina-se as condições de recalque. Desta maneira otimiza-se a forma geométrica da cavidade evitando-se problemas de qualidade na peça. O presente trabalho tem como objetivo mostrar como a simulação reológica pode ser efetivamente utilizada na fase de concepção e projeto de um molde de injeção.*

**Palavras-chave:** *Reologia, Moldes de injeção, Sistemas flexíveis de manufatura, Sistemas inteligentes de manufatura, Engenharia concorrente.*

### 1. INTRODUÇÃO

Segundo Weingaertner et al (1998), na atual conjuntura, onde qualidade com redução de custos é pré-requisito, e o prazo de entrega é o diferencial para se tornar competitivo no mercado internacional, as ferramentarias brasileiras investem na aquisição de máquinas-ferramentas com comando numérico computadorizado (CNC) e sistemas computacionais de auxílio ao projeto e à fabricação de moldes de injeção (CAD/CAE/CAM). Embora as estatísticas sobre a utilização destas tecnologias sejam positivas, a indústria brasileira ainda se encontra distante do nível tecnológico alcançado pela forte concorrência vinda do exterior, principalmente dos países europeus e asiáticos

Percebe-se que as ferramentarias brasileiras, mesmo tendo adquirido esses equipamentos e *software*, passam por inúmeros problemas que começam desde a própria instalação, a integração, o domínio dos mesmos, até a utilização e a integração com tecnologias emergentes que marcam o diferencial com as suas concorrentes no exterior.

Quando se começa a integrar máquinas de manufatura com sistemas de controle e transporte surgem as células e sistemas flexíveis de manufatura. Uma das características do FMS é a flexibilidade e a capacidade de processamento de alguns componentes complexos simultaneamente numa seqüência ininterrupta. Outra característica se encontra no fluxo das informações que ocorrem entre as áreas da engenharia, fabricação, montagem e expedição. No DEMC da UCS vem-se estudando, projetando e montando um FMS orientado à fabricação de moldes de injeção, com o objetivo de conhecer e aplicar corretamente novos conceitos e novas tecnologias seguindo a filosofia IMS para posteriormente transferir estas tecnologias para o meio industrial.

Uma das áreas estratégicas no desenvolvimento do produto refere-se à seleção e aplicação de ferramentas adequadas de CAD/CAE/CAM. Embora os sistemas CAD e CAM sejam de uso comum (Rembold et al., 1994), isso não acontece com as ferramentas CAE devido principalmente ao custo envolvido e à carência de pessoal qualificado nessa área.

Nos últimos anos, a utilização de *software* de análise de fluxo como uma ferramenta no projeto de componentes plásticos tem sido amplamente difundida. Em parte, isso foi originado pelos avanços nos materiais plásticos e pelas demandas por maior qualidade.

## **2. SISTEMA FLEXÍVEL DE MANUFATURA**

O ciclo de fabricação de um molde de injeção<sup>1</sup> no FMS do DEMC da UCS pode ser dividido em três setores que compõem o “pisso de fábrica” e um departamento de engenharia:

### **2.1. Setor de fabricação**

Formado por um centro de usinagem (marca DynaMyte, modelo DM 4500) com 4 eixos de interpolação simultânea, onde são usinados os machos, fêmeas, postigos e eletrodos.

Outro equipamento que integrará o setor de manufatura é uma máquina de eletroerosão CNC (em fase de aquisição) onde serão tratadas as partes das peças que não puderam ser usinadas no centro de usinagem por limitações geométricas entre ferramentas de corte e peças. Os eletrodos a serem utilizados serão fabricados, também, no centro de usinagem.

### **2.2. Setor de engenharia reversa**

O sistema de digitalização (em fase de aquisição) será utilizado nas áreas de engenharia reversa e inspeção. Uma vez digitalizada uma peça, obtêm-se uma nuvem de pontos que será tratada e transformada em um modelo computacional possível de ser alterado em função de necessidades funcionais, estruturais e de fabricação. Além disso, este sistema servirá para realizar o controle dimensional dos componentes fabricados. Uma vez fabricados, o sistema digitalizará os componentes do molde e os comparará com os modelos gerados no sistema CAD, reconhecendo possíveis imperfeições geométricas.

O fluxo de informações aleatório entre os setores, aliado ao desdobramento das atividades de desenvolvimento do produto de modo paralelo, criam a necessidade de um eficiente gerenciamento de informações que permita um processo integrado, ágil e flexível.

---

<sup>1</sup> Entende-se como molde de injeção as cavidades (machos, fêmeas e postigos) que dão forma ao material polimérico injetado.

### 2.3. Setor de armazenamento e transporte de materiais

O setor de armazenamento e transporte de materiais está composto por um almoxarifado com capacidade para 90 *palets* onde são armazenados matéria-prima, componentes em processamento, acabados e defeituosos. Os *palets* têm capacidade para transportar um bloco metálico com dimensões de 120x120x120 mm.

O almoxarifado é alimentado por um trans-elevador que possui 3 graus de liberdade, permitindo a movimentação de materiais entre o almoxarifado, a esteira transportadora e a área de entrada e saída de materiais. O transporte de material da esteira transportadora ao setor de manufatura é realizado por um robô (marca Nachi, modelo SC15) com 6 graus de liberdade e mais um sétimo eixo responsável pelo deslocamento linear.

O almoxarifado, o trans-elevador, a esteira transportadora e o sétimo eixo transitivo do robô foram desenvolvidos pelos pesquisadores que integram este projeto e fabricados em parceria com empresas da região de Caxias do Sul.

### 2.4. Departamento de engenharia

No departamento de engenharia estão os setores de projeto, fabricação e produção, todos em processo de integração, fazendo uso de ferramentas computacionais CAD, CAE, CAM, CAPP, PDM e MRP, de conceitos de CE e da filosofia de IMS. Esta integração ocorre em três diferentes níveis e será apresentada em detalhe em trabalhos posteriores.

## 3. EQUACIONAMENTO DAS FASES DE PREENCHIMENTO E RECALQUE

O equacionamento adotado pelo software Moldflow, utilizado na simulação de processos de injeção, é discriminado em duas fases:

### 3.1 Fase de preenchimento

Neste item serão apresentadas as equações simplificadas que governam a fase de preenchimento para solução numérica (Kennedy, 1995). A solução das equações é feita em três etapas principais: cálculo do campo de pressão, cálculo do campo de temperatura e finalmente, avanço da frente fluida. O método de elementos finitos é utilizado para o cálculo de pressão enquanto os cálculos de temperatura utilizam o método de diferenças finitas. O avanço da frente fluida utiliza um enfoque do tipo volume de controle.

As equações que governam a fase de preenchimento são:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( S_2 \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( S_2 \frac{\partial p}{\partial y} \right) = 0, \text{ para } S_2 = \int_0^h \frac{z^2}{\eta} dz \quad (1)$$

onde,

$$S = \int_0^h \frac{z^2}{\eta} dz \quad (2)$$

$$\rho c_p \left( \frac{\partial T}{\partial t} + v_x \frac{\partial T}{\partial x} + v_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) = \eta \dot{\gamma}^2 + k \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}, \text{ para } \dot{\gamma}^2 = \left( \frac{\partial v_x}{\partial z} \right)^2 + \left( \frac{\partial v_y}{\partial z} \right)^2 \quad (3)$$

As Eqs. (1) e (3) são resolvidas sujeitas às seguintes condições de contorno:

- i. A pressão na frente fluida é zero,

$$p = 0 \text{ na frente fluida} \quad (4)$$

ii. A pressão ou vazão é definida no(s) ponto(s) onde a massa fundida é injetada,

$$p=p_{in} \text{ ou } q=q_{in} \text{ no(s) ponto(s) de injeção} \quad (5)$$

iii. A normal do gradiente de pressão é zero nos contornos impenetráveis,

$$\frac{\partial p}{\partial n} = 0 \quad (6)$$

iv. A temperatura na parede da cavidade ou em algum ponto interior da parede do molde é,

$$T = T_w \text{ em } z = h \text{ ou } z = h + \delta \quad (7)$$

v. O gradiente de temperatura na direção  $z$  é zero na linha central da cavidade,

$$\frac{\partial T}{\partial z} = 0 \text{ em } z = 0 \quad (8)$$

vi. A temperatura da massa fundida no(s) ponto(s) de injeção é definida como,

$$T = T_m \text{ no(s) ponto(s) de injeção} \quad (9)$$

Devido à dependência da fluidez  $S_2$  na viscosidade, a mesma que depende tanto da temperatura quanto da velocidade de corte, as equações (1) e (3) devem ser resolvidas simultaneamente. Não obstante, para solução numérica, as equações são desacopladas utilizando pequenos incrementos de tempo. Num tempo particular, assume-se a temperatura constante e o campo de pressão é calculado assumindo um valor de viscosidade naquela temperatura. Previsto que os incrementos de tempo são suficientemente pequenos, este desacoplamento proporciona resultados satisfatórios.

### 3.2 Fase de recalque

Durante o recalque são incluídas os efeitos de compressibilidade e expansibilidade em todos os nós na cavidade e no sistema de alimentação. Como a cavidade é volumetricamente preenchida previamente ao recalque, não existe necessidade para um avanço da frente fluida. Nesta fase também faz-se necessário prescrever os passos do tempo. As condições de contorno para o recalque são diferentes daquelas utilizadas no preenchimento. Em particular a condição de contorno onde a pressão é zero na frente fluida não é mais aplicável.

As equações que governam a fase de recalque, para a cavidade, são (Kennedy, 1995):

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( S_2 \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( S_2 \frac{\partial p}{\partial y} \right) = \bar{\kappa} H \frac{\partial p}{\partial x} - \int_0^H \frac{\beta}{\rho c_p} \left( \eta \dot{\gamma}^2 + k \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) dz, \text{ para } S = \int_0^h \frac{z^2}{\eta} dz \quad (10)$$

$$\rho c_p \left( \frac{\partial T}{\partial t} + v_x \frac{\partial T}{\partial x} + v_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) = \beta T \frac{\partial p}{\partial t} + \eta \dot{\gamma}^2 + k \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}, \text{ para } \dot{\gamma}^2 = \sqrt{\left( \frac{\partial v_x}{\partial z} \right)^2 + \left( \frac{\partial v_y}{\partial z} \right)^2} \quad (11)$$

As equações (10) e (11) são resolvidas sujeitas às seguintes condições de contorno:

- i. A pressão é definida no(s) ponto(s) onde a massa fundida é injetada,

$$p = p_{in} \text{ no(s) ponto(s) de injeção} \quad (12)$$

- ii, iii, iv e v; condições equivalentes às condições iii, iv, v e vi da fase de preenchimento.

A Eq. (10) difere daquela utilizada na fase de preenchimento devido aos termos adicionais no lado direito. Estes termos contam pelos efeitos de compressibilidade e expansão térmica respectivamente. A Eq. (11) diferencia-se também daquela do preenchimento devido ao ultimo termo que conta pelo calor devido à compressão. A Eq. (10) pode ser escrita como:

$$\bar{\kappa}H \frac{\partial p}{\partial t} - (\nabla \cdot S \nabla \tilde{p}) = b \quad (13)$$

onde  $\nabla$  denota o operador gradiente em duas dimensões e,

$$b = \int_0^H \frac{\beta}{\rho c_p} \left( \eta \dot{\gamma}^2 + k \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) dz \quad (14)$$

O coeficiente de expansão térmica  $b$ , descrito na Eq. (14), pode ser determinado explicitamente para certos campos de pressão e temperatura, portanto sendo avaliado num passo anterior do tempo. O enfoque, logo, é resolver a Eq. (13) para pressão num tempo novo, utilizando o valor de  $b$ , num passo anterior do tempo.

#### 4. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO DE MOLDES DE INJEÇÃO

O produto para o qual o FMS do DEMC da UCS tem sua fabricação orientada possui características singulares e únicas há cada novo projeto. A obtenção de um molde com características de produtividade e custo otimizadas, necessitam elevado conhecimento e experiência do projetista.

Desta forma é necessário criar uma sistemática de desenvolvimento de produtos ágil e flexível, onde as informações possam fluir de maneira clara e confiável. Baseado na filosofia da Engenharia Concorrente e com o apoio de diversas ferramentas computacionais foram estabelecidas oito etapas para o desenvolvimento de uma matriz. As etapas da metodologia de desenvolvimento abrangem desde a concepção até a fabricação do molde de injeção. As etapas são: Conceber o produto; Conceituar o produto; Simular e avaliar o produto; Planejar o processo de fabricação; Detalhar o projeto do produto; Detalhar e aprovar o processo de fabricação; Planejar a fabricação; e Fabricação. Neste trabalho, serão detalhadas as atividades de conceituar, simular e avaliar o produto. Estas duas etapas estão baseadas no uso de sistemas CAE para análise reológica.

##### 4.1. Conceituar o produto

No desenvolvimento do projeto quatro aspectos fundamentais devem ser considerados: configuração da peça, características da máquina injetora, material da peça injetada e condições do molde e moldagem. Esses itens determinam a complexidade e o domínio da aplicação necessária a simulação.

**Configuração da peça.** O projetista necessita conhecer a geometria do componente a ser injetado, o que acontece normalmente através de desenhos e suas respectivas vistas ortogonais ou através de modelos físicos ou computacionais.

**Características da máquina injetora.** Conhecer as principais características técnicas da injetora onde o molde será utilizado, é uma necessidade básica para o projetista. Algumas características principais são: máxima capacidade e pressão de injeção; força de fechamento; espessura máxima e mínima do molde; máximo comprimento horizontal e vertical do molde; máxima abertura; tipo, máxima pressão e máximo fluxo do fluido de refrigeração.

**Material da peça injetada.** As principais características técnicas do material que influem no projeto do molde são: taxa de contração; fluidez, tensão de cisalhamento admissível; temperatura de congelamento, de injeção, de degradação e de ejeção.

**Condições do molde e moldagem.** Todo projeto possui clientes, sejam eles internos ou externos, cujas necessidades devem ser atendidas. Por clientes externos entende-se aqueles que irão adquirir e utilizar o molde de injeção após sua fabricação. Suas necessidades básicas estão relacionadas com utilização e custo do molde; qualidade superficial, dimensional e funcional do componente injetado. Como clientes internos entende-se aqueles que participarão da fase de desenvolvimento e fabricação do molde de injeção, cujas necessidades principais são relativas às máquinas-ferramentas e custo.

## 4.2. Simular e avaliar o produto

A simulação do projeto testa sua validade funcional através dos sistemas CAE de análise numérica da operação do molde, nas mais diferentes condições de uso. As simulações realizadas são do tipo reológica, térmica e mecânica do moldado e do molde. A utilização da análise computacional permite a redução no tempo de desenvolvimento e amadurecimento do projeto. Com este procedimento evita-se que erros de concepção sejam apenas detectados nas fases posteriores, o que aumentaria o tempo e o custo do projeto devido as alterações a serem posteriormente realizadas. Os tipos de simulações aplicáveis a moldes de injeção são:

**Simulação reológica.** Consiste em simular o escoamento do material no sistema de alimentação e no interior da cavidade, analisando o comportamento durante a fase de enchimento e recalque. Fornece dados sobre a pressão de enchimento, temperatura da massa fundida, força de fechamento e o tempo de injeção. Pode-se obter também valores do percentual de camadas solidificadas, orientação do fluxo e tensões de cisalhamento na peça.

**Simulação térmica.** Consiste em simular o resfriamento do componente. Para isso é necessário que estejam definidos os canais de refrigeração, fluido refrigerante e outros parâmetros do sistema. A troca de calor entre o componente e o molde de injeção é um fator preponderante para se obter uma operação econômica e produtos de boa qualidade.

**Simulação mecânica do moldado.** Consiste em simular as deformações que ocorrem na peça após sua injeção e extração, que normalmente são ocasionadas pelas tensões residuais decorrentes do processo de injeção e pelo resfriamento não uniforme do componente.

**Simulação mecânica do molde.** Pouco utilizada devido a sua complexidade, permite simular as deformações do molde ocasionadas pelas pressões internas resultantes do processo de injeção. A rigidez do molde determina a qualidade da peça e seu nível de segurança.

## 5. APLICAÇÃO DA SISTEMÁTICA PROPOSTA

No processo de projeto do molde de injeção será utilizado o *software* Moldflow, que prediz os efeitos do fluxo do polímero termoplástico no molde. Este *software* pode ser utilizado como uma ferramenta de avaliação para projetos novos ou como uma ferramenta de diagnóstico para projetos existentes (Moldflow, 1994). O Moldflow oferece ferramentas para:

a) modelagem, translação, edição e geração de malha de modelos 3D, para análise de preenchimento, b) condições de moldagem para materiais específicos, c) predições da análise de preenchimento, d) predições da análise de recalque e e) balanceamento de canais.

## 5.1. Conceituar o produto

Como definido na metodologia para o desenvolvimento de moldes de injeção, a fase de conceituação é dividida em três etapas.

A primeira etapa refere-se à configuração do produto a ser moldado. O produto piloto do FMS do DEMC da UCS, mostrado na Fig. 1, representa um chaveiro com o símbolo da UCS. Nesta etapa utilizou-se o *software* Pro/Engineer para o desenvolvimento e modelamento do produto. Foram criadas várias alternativas que foram discutidas pelo integrantes do grupo, considerando aspectos estruturais, qualidade estética, processos de fabricação e montagem. Esse produto será o modelo sobre o qual serão efetuadas as simulações. A complexidade do produto piloto é suficiente para se obter o mínimo conhecimento necessário para a aplicação dos procedimentos CAE na simulação de moldes de injeção. O produto piloto é composto por três componentes: base, suporte da estrela e estrela. Neste trabalho a metodologia será aplicada à base, conforme mostrado na Fig. 2.

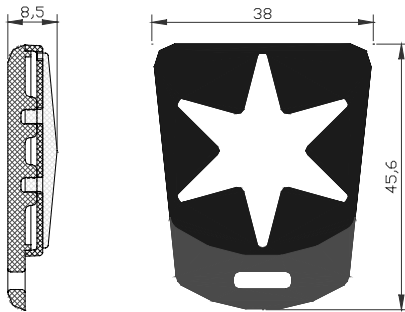


Figura 1 – Produto piloto

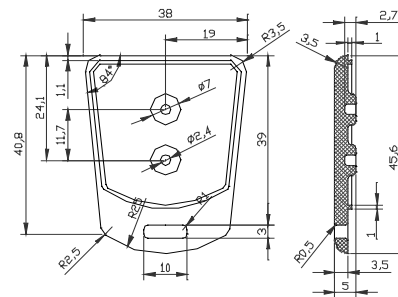


Figura 2 – Base do produto piloto

A segunda etapa refere-se às características da máquina injetora que será utilizada no processo de injeção. A UCS possui um laboratório de polímeros, o qual é equipado com uma injetora da marca Himaco que apresenta as seguintes características técnicas: Força de fechamento de 80.000 kg; capacidade efetiva de injeção de 172 cm<sup>3</sup>; pressão máxima sobre o material de 190 Mpa; espessura do molde: máxima de 355 mm e mínima de 110 mm; máxima abertura de 655 mm; dimensões entre colunas de 305x305 mm.

A terceira fase envolve o conhecimento do material utilizado na injeção do componente, que para este caso será ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno). A faixa de temperatura do material fundido na cavidade pode variar entre 200 e 260 °C, sendo que a temperatura ideal é de 230 °C. A temperatura do molde varia entre 40 e 80 °C, sendo considerada a ideal de 60 °C. A temperatura de ejeção ideal é de 112 °C e a taxa de fluidez média é de 35 g/10min considerando uma temperatura de teste em 220 °C e a carga de teste de 10 kg. A tensão de cisalhamento média para esse tipo de resina é de 0,3 Mpa.

A etapa final refere-se às necessidades dos clientes. Para esta aplicação são considerados como clientes internos os recursos, fabris e humanos, existentes no FMS. Por ser um produto piloto, não ter valor comercial e nem ser produzido em escala industrial, a maior preocupação refere-se à qualidade estética do produto. Mesmo priorizando a qualidade estética buscou-se otimizar as características produtivas e de custo do molde.

## 5.2. Simular e avaliar o produto

Nos últimos anos, a utilização de *softwares* de análise de fluxo como ferramenta no projeto de componentes plásticos tem sido amplamente difundida. Embora com uso crescente, algumas dificuldades de comunicação existem. A transferência de modelos de um sistema CAD para um sistema CAE apresenta dificuldades, normalmente ocasionando retrabalho e um significativo consumo de tempo, se a geometria do modelo apresentar formas complexas.

Serão apresentados alguns dos resultados referentes às análises de preenchimento, balanceamento de canais e recalque. As Fig. 3 e 4 apresentam, respectivamente, os valores de pressão e temperatura de injeção obtidos da simulação de preenchimento da cavidade.

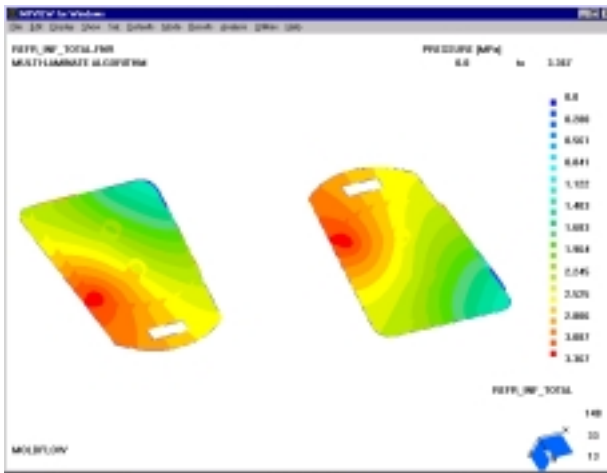


Figura 3 – Pressão de injeção

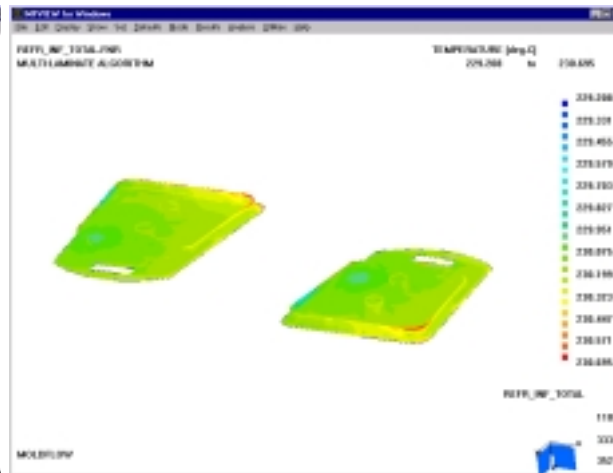


Figura 4 – Temperatura de injeção

As Fig. 5 e 6 apresentam, respectivamente, os valores da tensão de cisalhamento e tempo de injeção obtidos da simulação de preenchimento da cavidade do molde.

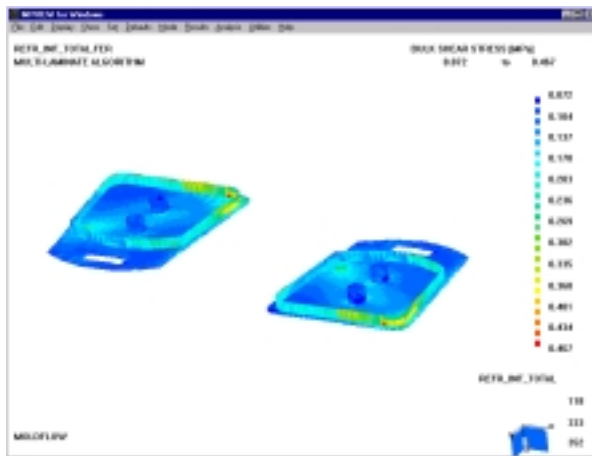


Figura 5 – Tensão de cisalhamento

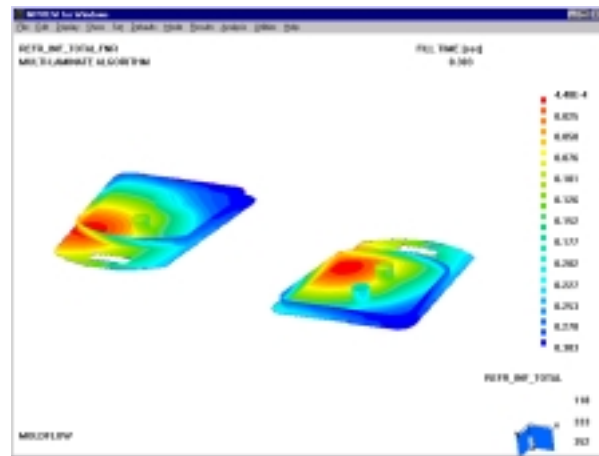


Figura 6 – Tempo de injeção

As Fig. 3, 4, 5 e 6 apresentam alguns dos resultados apresentados pelo *software* após concluída a análise de preenchimento.

Os valores da pressão de injeção apresentados na Fig. 3 estão compreendidos no intervalo de pressões disponíveis pela injetora. A temperatura do material fundido, Fig. 4, está contida na faixa prevista para o material e apresenta uma variação de menos de 1°C, desde o ponto de entrada na cavidade até o último ponto preenchido, significando que o material não sofre degradação nem congelamento na cavidade durante a injeção. A Fig. 5 apresenta os



valores da tensão de cisalhamento para o material utilizado na simulação. Alguns pontos apresentam valores superiores ao sugerido para o material, indicando a necessidade de estudos sobre a possibilidade de degradação do material naqueles pontos, bem como uma possível de troca de material como tentativa para reduzir a tensão de cisalhamento naqueles pontos. A Fig. 6 apresenta o tempo de injeção considerado na simulação e deve ser analisada em conjunto com a Fig. 3. As Fig. 3 e 6, apresentam contornos semelhantes significando que o fluxo de material na cavidade está homogêneo e bem distribuído.

As Fig. 7 e 8 apresentam, respectivamente, os valores de deformação volumétrica obtidos da simulação de recalque e os valores de pressão de injeção obtidos da simulação de balanceamento dos canais.

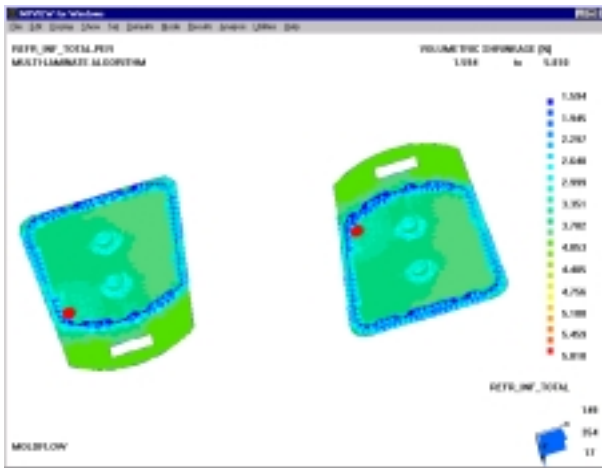


Figura 7 – Contração volumétrica

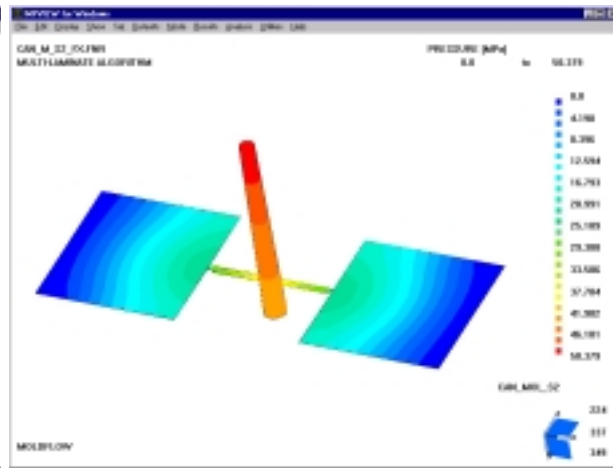


Figura 8 – Pressão de injeção

Os valores obtidos na Fig. 7 apresentam uma variação na contração um pouco acima do aceitável para esse tipo de material que é de 5%, ocasionado principalmente pelas diferentes espessuras da peça. A Fig. 8 apresenta a distribuição de pressões de forma uniforme e com valor máximo possível de ser obtido no processo de injeção. Um método de simplificação da análise de balanceamento de canais é o uso do chamado “retângulo equivalente”, que reduz o tempo de processamento com resultados semelhantes como se fosse utilizado o componente com a geometria original.

Analogamente o mesmo tratamento está sendo realizado para os outros dois componentes do produto piloto, ou seja, o suporte da estrela e a estrela.

## 6. CONCLUSÕES

- ❖ O uso da metodologia propicia um ganho tempo na colocação do produto no mercado, devido principalmente a pouca necessidade de ajustes no molde após sua fabricação;
- ❖ A análise dos resultados apresentados pelo *software*, deve ser bastante criteriosa. O princípio de que *entra lixo sai lixo*, deve ser considerado nesse tipo de análise.
- ❖ Para um uso eficiente de ferramentas computacionais para análise reológica é necessário treinamento, bom senso e um bom conhecimento do processo de injeção;
- ❖ O uso mais freqüente de ferramentas computacionais para análise reológica no processo de desenvolvimento e projeto de uma matriz, é necessário para tornar as ferramentarias nacionais capazes de competir com suas concorrentes estrangeiras;

## ***Agradecimentos***

Ao CNPq, à FAPERGS e à Secretaria de Ciência e Tecnologia do Estado do Rio Grande do Sul pelo apoio financeiro que possibilitaram a realização do projeto CIM do DEMC da UCS. Agradecemos a colaboração do Prof. Ademar Galelli pela revisão do presente trabalho.

## **REFERÊNCIAS**

- Borenstein, D., Becker, J. L., Santos, E. R., 1999, A systemic and integrated approach to flexible manufacturing systems design, *Integrated Manufacturing Systems*, vol. 10, n. 1, pp. 6-14.
- Kennedy, P., 1995, *Flow Analysis of Injection Molds*, Hanser Publishers.
- Manziona, L. T., (Ed.), 1987, *Applications of Computer Aided Engineering in Injection Molding*, Hanser, New York.
- Luciano, M. A., Vallejos, R. V., Casas, W. P., *Integração do Projeto e Produção na Indústria de Moldes de Injeção de Termoplásticos*. V Simpósio de Engenharia de Produção. Universidade Estadual Paulista, UNESP. 9 a 11 de novembro de 1998, Bauru, SP.
- Moldflow, 1994, MF/FLOW Rel 9.0 (for MOTIF) Training Manual, Moldflow Pty. Ltd.
- Rembold, U., Nnaji, B. O. , Storr, A., 1993, *Computer Integrated Manufacturing and Engineering*, Addison-Wesley.
- Weingaertner, W. L., Vallejos, R. V., Gomes, J. O., 1998, Uma reflexão sobre as ferramentarias nacionais, *Revista Plástico Industrial*. a. 1, n. 3, pp. 26-33.

## **REOLOGICAL ANALYSIS IN INJECTION MOLDS IN THE CONTEXT OF A FLEXIBLE MANUFACTURING SYSTEM**

***Abstract.*** *This work describes part of the implementation of a Flexible Manufacturing System applied to the production of injection molds of thermoplastics in the context of Intelligent Manufacturing Systems (IMS) that is being developed in the Department of Mechanical Engineering (DEMC) of the University of Caxias do Sul (UCS). Making use of techniques such as Concurrent Engineering (CE) it is possible to offer products to the market, in this case injection molds, with lower lead-times of development and lower conception mistakes. The design simulation tests the functional validity of the use of the mold in most different conditions. The simulations will be reological, thermal and mechanical. The reological simulation predicts the flow of the material inside the cavity and in the filling system, analyzing its behavior in the filling and packing phases; then it is accomplished the runner balancing and finally it is determined the packing conditions. This way, the geometric form of the cavity could be optimized, avoiding quality problems in the piece. The present work intends to show how the reological simulation can be used in the conception and design phases of an injection mold.*

***Keywords:*** *Reology, Injection molds, Flexible manufacturing systems, Intelligent manufacturing systems, Concurrent engineering.*